内源性空间线索有效性对老年人视听觉整合的影响

高玉林 [1] 唐晓雨 [2] 刘思宇 [3] 王爱君 [4] 张明 [4,5]

([1] 吉林大学心理学系，长春 130012)

([2] 辽宁师范大学心理学院，辽宁省儿童青少年健康人格评定与培养协同创新中心，大连 116029)

([3] 宁波职业技术学院，宁波 315800) ([4] 苏州大学心理学系，心理与行为科学研究中心，苏州 215123)

([5] 日本国立冈山大学健康系统统合研究院，冈山 700-8530)

摘 要 视听觉整合是将视觉和听觉信息整合成为统一、连贯且稳定的知觉过程。研究采用内源性线索–靶子范式，探讨了不同内源性空间线索有效性对老年人视听觉整合的影响，以及不同线索有效性条件下老年人和青年人视听觉整合的差异。结果表明，(1)无论线索有效性的高低，老年人的视听觉整合均弱于青年人；(2)低线索有效性(50%)条件下，老年人和青年人在有效线索条件下视听觉整合效应均与无效线索条件下没有差异；(3)中线索有效性(70%)条件下，老年人在有效线索条件下视听觉整合效应与无效线索条件下没有差异，青年人在有效线索条件下视听觉整合效应显著高于无效线索条件；(4)高线索有效性(90%)条件下，老年人和青年人在有效线索条件下视听觉整合效应均显著高于无效线索条件。研究结果支持了空间不确定性假说，并且进一步揭示了内源性注意与视听觉整合的交互作用，明确了不同线索有效性条件下内源性空间注意定向收益的不同是导致老年人与青年人视听觉整合差异的原因之一。

关键词 内源性空间注意，视听觉整合，老年人，线索有效性

1 前言

视觉和听觉是人类日常生活中获取信息的重要通道，当视觉刺激和听觉刺激同时出现并指向同一事件时，会被知觉为一个连贯的刺激，这种知觉过程被称为视听觉整合(Audiovisual integration, Talsma & Woldorff, 2005; 唐晓雨 等, 2020)。与单通道视觉或听觉刺激相比，整合后的视听觉双通道刺激可以更快更好地被识别，这种现象被称为冗余效应(Gao et al., 2014; Li et al., 2010; Wu et al., 2012)。以往研究发现视听觉整合除了受视听双通道刺激的时间和空间一致性这种自下而上因素的影响(Fleming et al., 2020; Li et al., 2015)之外，也受到内源性注意这种自上而下因素的影响(Talsma & Woldorff, 2005; Tang et al., 2016)，

收稿日期: 2022-02-18

教育部人文社科项目(22YJC190005；22YJC190020)，国家自然科学基金(31871092)，日本学术振兴会(JSPS)基础研究项目(20K04381)，苏州大学人文社科青年交叉团队(2022)资助。

高玉林和唐晓雨同为第一作者

通信作者: 王爱君，E-mail: ajwang@suda.edu.cn；张明，E-mail: psyzm@suda.edu.cn

其中，较为重要的一种模式是内源性空间注意对视听觉整合的影响(Talsma & Woldorff, 2005; 唐晓雨 等, 2020)。

内源性空间注意是指个体对某一特定位置的刺激信号进行有意识地监控，是一种自上而下的注意(Posner, 1980)。现有研究采用内源性线索–靶子范式，通过内源性符号线索，引导被试将注意集中在某一空间位置，并且通过控制线索有效性比例的高低对内源性空间注意的分配进行调节。如果被试在有效线索条件下的反应时显著快于无效线索条件下的反应时，则表明出现线索化效应(Cue Effect)，即诱发了内源性空间注意定向(Arjona et al., 2016; Vossel et al., 2006)。关于内源性空间注意对视听觉整合的影响，Donohue等(2015)的研究发现，当线索有效性为75%时，被试在有效线索条件下对视听觉刺激识别的准确率更高。同样地，唐晓雨等(2020)的研究发现，当线索有效性为80%时，被试在有效线索条件下的视听觉整合效应强于无效线索条件下的视听觉整合效应，表明了内源性空间注意促进了视听觉整合效应。此外，Talsma和Woldorff(2005)通过指导语来诱发被试的内源性空间注意，结果同样发现被注意位置的视听觉整合效应增强。综上，使用不同方式操纵内源性空间注意的研究均发现内源性空间注意对视听觉整合有促进作用(Donohue et al., 2015; Talsma et al., 2010; Talsma & Woldorff, 2005; 唐晓雨 等, 2020)。然而，上述研究均以18~26岁的青年人为研究对象，尚不清楚内源性空间注意对老年人视听觉整合的影响。

有证据表明，老年人的内源性空间注意会随着年龄的增加而逐渐减弱(Erel & Levy, 2016; Juola et al., 2000; Zivony et al., 2019)。在以往使用内源性线索–靶子范式探究老年人空间注意定向的研究中，这种减弱一方面表现为老年人的内源性注意定向收益弱于青年人，即老年人对线索的利用效率弱于青年人(Erel & Levy, 2016; Slessor et al., 2016; Zivony et al., 2019)；另一方面表现为老年人在无效线索条件下的错误率和反应时均显著高于青年人，即老年人不能灵活的进行注意转移且对无关刺激的抑制能力弱于青年人(Juola et al., 2000)。此外，功能性磁共振成像(functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)研究发现，老年人的前额叶皮层的灰质体积会随年龄增长而减小(DeCarli et al., 2005; Lockhart & DeCarli, 2014)，并且，Erel 和 Levy(2016)认为这种前额叶皮层灰质体积的减小与老年人内源性空间注意的衰退有关。上述研究均证实了老年人的内源性空间注意与青年人存在差异。此外，有研究发现老年人对视觉和听觉刺激的感知觉敏感性显著弱于青年人(Parada et al., 2021; Tremblay et al., 2021)，其视听觉整合也与青年人存在差异(Jones & Noppeney, 2021; Yang et al., 2021)。一些研究发现老年人视听觉整合效应强于青年人(Laurienti et al., 2006; Peiffer et al., 2007)，例如Laurienti 等(2006)发现当刺激位于中心时，老年人表现出了更强的视听觉整合效应，并且认

为造成这一结果的可能原因是单感觉刺激强度越弱越有利于视听觉整合，即视听觉整合中的逆效应(inverse effectiveness)，而老年人对视觉和听觉敏感性较弱，所以视听觉整合会增强(Laurienti et al., 2006)。但另外一些研究发现，老年人的视听觉整合弱于青年人(Ren et al., 2021; Stephen et al., 2010; Wu et al., 2012; Yang et al., 2021)。研究者们认为造成这种差异的原因与刺激位置有关，当刺激位于外周时，由于老年人对外周刺激的加工减慢，造成了老年人产生视听觉整合概率变小(Diederich et al., 2008; Wu et al., 2012)。虽然老年人与青年人的视听觉整合孰强孰弱仍然存在争议，但现有证据均表明老年人和青年人的视听觉整合存在差异(Yang et al., 2021)。

综上，前人关于老年人视听觉整合的研究中虽然涉及到了如知觉敏感性和刺激位置等因素，但并未涉及到内源性空间注意因素的影响，同时虽然已知内源性空间注意可以促进青年人视听觉整合，但研究发现老年人与青年人内源性空间注意存在差异，目前尚不清楚内源性空间注意对老年人视听觉整合的影响，以及内源性空间注意条件下，老年人与青年人视听觉整合的差异。因此，本研究采用内源性线索−靶子范式，以被试类型(青年人 vs.老年人)、线索类型(有效线索 vs.无效线索)和目标刺激类型(视觉刺激 vs.听觉刺激 vs.视听觉刺激)为自变量，通过三个实验，分别考察 50%(实验一)、70%(实验二)和 90%(实验三)三种线索有效性条件下，内源性空间注意对老年人视听觉整合的影响。之所以采用三种不同线索有效性操控内源性空间注意是因为，以往研究发现，线索有效性的高低可以调节内源性空间注意的分配，线索有效性越高，线索化效应越大(Arjona et al., 2016)。并且唐晓雨等(2020)的研究发现，不同线索有效性条件下，内源性空间注意对青年人视听觉整合的影响不同，80%线索有效性条件下，内源性空间注意促进视听觉整合，50%线索有效性条件下内源性空间注意对视听觉整合没有促进作用。van der Stoep 等(2015)提出了“空间不确定假说”，该假说的主要内容为由于有效线索和目标刺激提供的空间定向信息是冗余的，当线索有效性越低，目标空间位置越不确定时，被试反而越会依赖线索提供的信息进行空间定向，因此导致视听觉目标刺激重要性的降低(van der Stoep et al., 2015)，得到的注意资源减少(唐晓雨等, 2020)。据此，本研究假设，50%线索有效性条件下，由于目标刺激得到的注意资源减少，导致内源性空间注意对老年人和青年人的视听觉整合没有促进作用。另外，鉴于老年人内源性空间注意弱于青年人(Olk & Kingstone, 2009)，且老年人的注意定向收益较低(Slessor et al., 2016; Zivony et al., 2019)，本研究假设，线索有效性越高，内源性空间注意越可能对老年人视听觉整合产生促进作用，而较低的线索有效性条件下，内源性空间注意对老年人视听觉整合没有促进作用。并且由于老年人对外周刺激的分辨力较弱(Anderson &

McDowell, 1997)，因此，在各线索有效性条件下，老年人的视听觉整合均弱于青年人。

2 实验 1：50%线索有效性条件下内源性空间注意对老年人视听觉整合的影响

2.1 方法

2.1.1 被试

根据 Ren 等(2018)研究中老年人和青年人视听觉整合效应差异的效果量(η_p^2=0.307)，以及 Ren 等(2018)和唐晓雨等(2020)研究中的期望功效值(0.8)，本研究采用 G*power3.1.9 软件设置 Effect size f 为 0.307，Power(1-β)为 80%，α 水平为 0.05，计算出每组样本量为 24 人。实验 1 实际在某老年大学随机招募被试 25 名 (男 18 人，女 7 人)，平均年龄为 64.1±4.9 岁。随机招募高校大学生 26 名(男 15 人，女 11 人)，平均年龄为 22.6±2.4 岁。本次实验中所有被试均视力或者矫正视力正常，听力正常，身体健康，脑部无损伤。本次实验的被试之前均没有参加类似实验的经历。其中，一名老年人和一名青年人被试的数据由于正确率低于 90%被删除，一名青年人被试的数据由于单个实验条件下的最小有效试次数低于该条件下总试次数的 70%被删除。通过软件 G*Power3.1.9 对双侧独立样本 *t* 检验进行了敏感性分析(sensitivity analysis)，设置 α=0.05，power=0.80，计算出实验 1 的 effect size dz=0.83，该实验达到了高等效应量，具备了较好的统计检验力。

2.1.2 实验仪器与材料

在本实验中刺激皆呈现在 Intel(R)Graphics620 型号的 14 英寸显示屏上，屏幕的分辨率为 1024×768，刷新率为 60Hz，被试距离屏幕中心 50cm。实验程序使用 E–prime1.1 编制，刺激均呈现在黑色背景上(RGB: 0, 0, 0)。注视屏由水平并排放置的三个灰白色方框及注视点组成，灰白色方框的 RGB 为 127，127，127，每个灰白色方框的大小为 4.4°×4.4°，中央方框里为加号形状注视点“+”(0.5°×0.5°)，中央注视点与左右外周方框的距离分别为 11°。目标刺激包括视觉刺激(V)、听觉刺激(A)和视听觉刺激(AV)三种形式。视觉刺激为 2°×2°大小的红(RGB: 234, 86, 97)黄(RGB: 247, 200, 125)相间的元宝形图案，呈现在左侧或者右侧的方框内，听觉刺激是通过双声道入耳式耳机(Realme RMA–155)呈现的 1600Hz、60dB 的纯音，视听刺激为视觉刺激和听觉刺激同时呈现在同一侧，刺激的呈现时间为 100ms，实验刺激如图 1a 所示。

2.1.3 实验设计与程序

实验采用 2(被试类型：老年人 vs.青年人)×2(线索类型：有效线索 vs.无效线索)×3(目标

刺激类型：视觉刺激 vs.听觉刺激 vs.视听觉刺激)的混合实验设计。被试间变量为被试类型，被试内变量为线索类型和目标刺激类型。因变量为正确率和反应时。

实验的试次流程如图 1b 所示：首先呈现注视屏 500ms，随后呈现线索屏 200ms，线索为指向左或者右的箭头。在 600ms 的时间间隔后，目标刺激(视觉刺激 vs.听觉刺激 vs.视听觉刺激)呈现在左侧或者右侧的方框内，呈现时间为 100ms。实验开始前会告知被试线索有效性为 50%，并要求其对目标刺激出现的方位进行判断，刺激出现在左侧时按键盘上的“N”键，出现在右侧时按键盘上的“M”键。每个被试均需要完成 480 个正式实验试次(有效线索试次 240 个；无效线索试次 240 个)，共分为 4 组，每组 120 个试次，每种试次随机呈现，每组之间休息 1 分钟。正式实验前有 20 个练习试次。实验大约为 20 分钟。

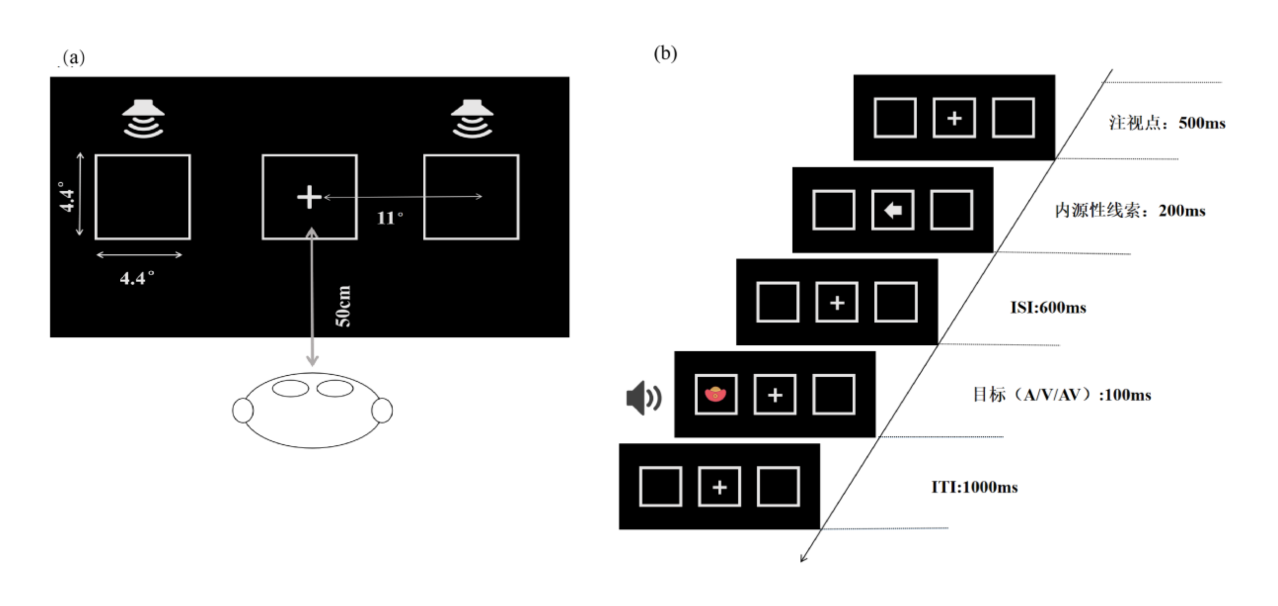


图 1 (a)为实验刺激示例图，包括目标刺激呈现的大小及位置示意；(b)为实验流程图。

注：目标刺激(A/V /AV)分别表示为听觉刺激，视觉刺激和视听觉刺激。ISI(inter-stimulus interval)为刺激间时间间隔。ITI(inter-trial interval)为试次间时间间隔。

2.1.4 数据分析

本研究使用相对多感觉反应增强(relative amount of multisensory response enhancement，rMRE)和竞争模型不等式(Race model inequality)对视听整合效应进行分析(唐晓雨 等, 2020; Miller, 1982)。

rMRE 是采用每种目标刺激条件下的反应时的中位数，使用公式(a)计算出视觉刺激和听觉刺激中反应时的最小量与视听觉刺激反应时的相对差值，由此可得知视听觉刺激反应时相对增加量或减少量，再将得出的数值进行单样本 t 检验(与 0 进行比较)，若结果显著大于 0，则可认为发生了视听觉整合效应。

$$\frac{(\mathrm{Min}\left(\mathrm{median}(\mathrm{RT}_A),\ \mathrm{median}(\mathrm{RT}_V)\right)-\mathrm{median}(\mathrm{RT}_{AV}))}{\mathrm{Min}(\mathrm{median}(\mathrm{RT}_A),\ \mathrm{median}(\mathrm{RT}_V))}\times 100\% \quad (a)$$

竞争模型不等式(Race model inequality)是用视觉刺激和听觉刺激反应时间的累积分布函数(cumulative distribution functions，CDFs)对竞争模型(Race model)进行计算，如公式(b)。

$$\mathrm{P}(\mathrm{RT}_{Race\ model}<\mathrm{t})=\mathrm{P}(\mathrm{RT}_A<\mathrm{t})+\mathrm{P}(\mathrm{RT}_V<\mathrm{t})-\mathrm{P}(\mathrm{RT}_A<\mathrm{t})\times\mathrm{P}(\mathrm{RT}_V<\mathrm{t}) \quad (b)$$

$P(RT_A$<t)是听觉刺激在某一给定时间 t 内的反应概率值，而 $P(RT_V$<t)是视觉刺激在某一给定时间 t 内的反应概率值，通过公式(b)可以计算出在某一给定反应时间内视觉刺激和听觉刺激反应时形成的概率累积分布函数，即 $P(RT_{Race\ model}$<t)，并将其与实际视听觉刺激反应时的累积分布函数 $P(RT_{AV}$<t)进行比较，求出两者差异 CDFs，即视听觉刺激的累积分布函数与 Race model 的累积分布函数在给定反应时间(本研究为 100~1200ms)范围内，每 10ms 上的概率差异。当实际视听觉刺激反应时的累积分布函数在某一时间段内显著的大于 Race model 时，就可以认为在该时间窗内发生了视听整合。通过比较不同条件下视听觉整合时间窗是否出现，以及在时间窗出现情况下峰值百分比大小是否有差异，判断不同条件间的视听觉整合大小是否有差异(Hugenschmidt et al., 2009; Yang & Ren, 2018)。

2.2 结果与分析

删除反应时小于 100ms 和大于 1200ms 的异常数据，如表 1 所示：最终老年人在有效线索条件下平均有效试次数为 228，无效线索条件下平均有效试次数为 228；青年人在有效线索条件下平均有效试次数为 230，无效线索条件下平均有效试次数为 227。

表 1 各实验条件间平均有效试次数

实验	老年人		青年人	
	有效线索	无效线索	有效线索	无效线索
实验 1	228(240)	228(240)	230(240)	227(240)
实验 2	596(630)	253(270)	578(630)	253(270)
实验 3	1015(1080)	109(120)	1059(1080)	118(120)

注：括号内为每一条件总试次数

总正确率结果如表 2 所示，老年人和青年人在各条件下的正确率均较高，因此仅对反应时进行分析。

表 2 实验 1 中不同条件下的正确率**(ACC/%)**、反应时**(RT/ms)** (***M*** ± ***SD***)

目标刺激	线索类型	老年人		青年人	
		ACC	RT	ACC	RT
视觉刺激	有效线索	97.6±2.8	440±173	98.9±1.3	338±76
	无效线索	98.4±1.8	455±174	97.7±2.4	347±75
听觉刺激	有效线索	98.0±2.0	433±149	96.1±3.8	364±97
	无效线索	92.4±4.3	448±143	94.1±5.0	396±99

视听觉刺激	有效线索	97.7±2.5	375±161	98.8±2.1	280±61
	无效线索	97.6±2.5	392±162	97.9±2.7	300±79

注：ACC 代表正确率(Accuracy, %)，RT 代表反应时(Reaction time, ms)

2.2.1 反应时

将正确试次条件下的反应时进行 2(被试类型：青年人 vs.老年人)×2(线索类型：有效线索 vs.无效线索)×3(目标刺激类型：视觉刺激 vs.听觉刺激 vs.视听觉刺激)的重复测量方差分析。结果如表 2 所示。被试类型主效应显著，$F(1, 46)=5.88$，$p=0.019$，$\eta_p^2=0.11$，青年人的反应时(338ms)显著快于老年人(424ms)。线索类型主效应显著，$F(1, 46)=33.10$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.42$，有效线索条件下的反应时(372ms)显著快于无效线索条件下的反应时(390ms)。目标刺激类型主效应显著，$F(2, 92)=58.59$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.56$。多重比较分析表明，视听觉刺激的反应时(337ms)显著快于视觉刺激(395ms)，$t(47)=8.11$，$p<0.001$，$d=0.45$，95%CI=[40.65, 75.55]和听觉刺激的反应时(410ms)，$t(47)=10.26$，$p<0.001$，$d=0.58$，95%CI=[56.02, 90.94]。被试类型和目标刺激类型的交互作用显著，$F(2, 92)=5.09$，$p=0.008$，$\eta_p^2=0.10$。其余交互作用均无显著差异，$ps>0.05$。

此外，分别将老年人和青年人的线索化效应(Cue effect=$RT_{无效}-RT_{有效}$)进行单样本 t 检验，结果均显著大于 0，$ps<0.05$，$ds>0.59$，说明本研究中老年人和青年人均出现了内源性空间注意。考虑到老年人和青年人的反应时基数差别，我们首先使用公式(c) (X 为原始数据，M 为平均数，SD 为标准差)对被试反应时数据做了正态化处理，然后使用独立样本 t 检验分别对正态化后的视觉刺激、听觉刺激和视听觉刺激条件下老年人和青年人线索化效应进行分析，结果均无显著差异，$ts(46)<1.72$，$ps>0.05$。

$$Z=\frac{X-M}{SD} \qquad (c)$$

2.2.2 相对多感觉反应增强(rMRE)

首先，计算出各条件下反应时的中位数的 rMRE 结果。然后对各被试类型、各线索类型条件下的 rMRE 进行单样本 t 检验(与 0 进行比较)。结果表明，老年人在各线索类型条件下的 rMRE 均显著大于 0，$ts(23)>4.28$，$ps<0.001$，$ds>0.87$；青年人在各线索类型条件下的 rMRE 均显著大于 0，$ts(23)>3.73$，$ps<0.05$，$ds>0.76$。说明了老年人和青年人在各线索类型条件下都产生了视听觉整合效应。

其次，使用配对样本 t 检验对老年人在各线索类型条件下的 rMRE 进行分析，结果发现老年人在有效线索条件和无效线索条件下的 rMRE 没有显著差异，$t(23)=0.68$，$p>0.05$。同样地，采用配对样本 t 检验对青年人在各线索类型条件下的 rMRE 进行分析，结果发现

青年人在有效线索条件和无效线索条件下的 rMRE 没有显著差异，$t(23)=1.03$，$p>0.05$。

最后，使用独立样本 t 检验对有效线索条件和无效线索条件的各被试类型的 rMRE 进行分析，目的是为了探究老年人和青年人视听觉整合是否存在显著差异。结果如图 2(a)所示，有效线索条件下，青年人的 rMRE(14.1%)显著大于老年人的 rMRE(8.6%)，$t(46)=2.27$，$p=0.028$，$d=0.65$，95%CI=[0.62, 10.50]；无效线索条件下，青年人和老年人的 rMRE 差异不显著，$t(46)=0.42$，$p>0.05$。

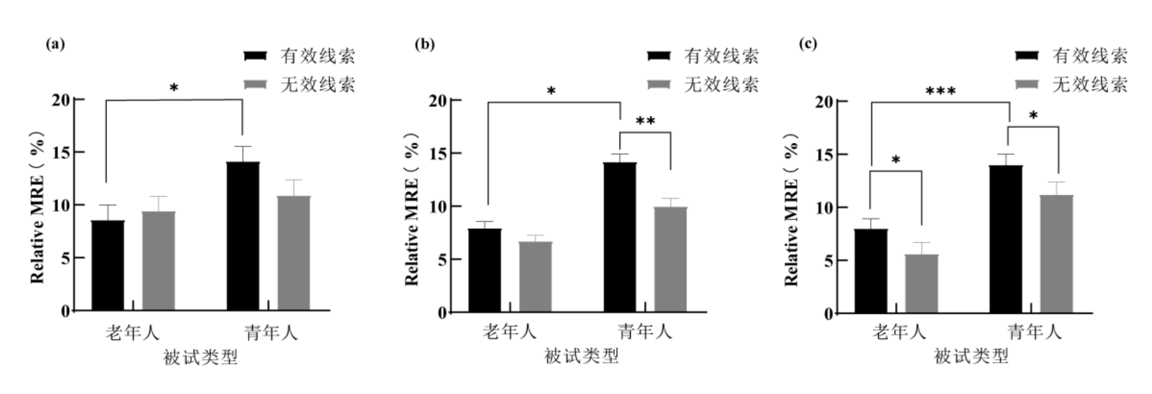


图 2 (a)实验 1 各被试类型在各线索类型条件下 rMRE 结果；(b)实验 2 各被试类型在各线索类型条件下 rMRE 结果；(c)实验 3 各被试类型在各线索类型条件下 rMRE 结果。

注： *$p<0.05$,**$p<0.01$,***$p<0.001$。

2.2.3 竞争模型分析(Race model)

首先，在反应时 0~1200ms 区间，计算出每 10ms 的时间段上，老年人和青年人在各线索类型条件下的累积概率值：听觉 $P(RT_A<\text{t})$、视听觉 $P(RT_{AV}<\text{t})$和视觉 $P(RT_V<\text{t})$。然后计算出各线索类型的竞争模型累积分布概率 $P(RT_{Race\ model}<\text{t})$与 $P(RT_{AV}<\text{t})$的累积概率差值，并且根据 Nardini 等(2016)的数据分析方法，在每 10ms 上进行单尾单样本 t 检验。老年人的结果如图 3(a)和图 3(b)所示：有效线索条件下显著违反竞争模型的时间窗口为 100ms(190ms~290ms)，$ts(23)>2.24$，$ps<0.05$，$ds>0.46$，峰值在 260ms，为 4.92%；无效线索条件下显著违反竞争模型的时间窗口为 100ms(190ms~290ms)，$ts(23)>1.75$，$ps<0.05$，$ds>0.36$，峰值在 270ms，为 5.64%。使用配对样本 t 检验对老年人在有效线索条件下与无效线索条件下的峰值进行分析，结果无差异，$t(23)=0.40$，$p>0.05$。即老年人在有效线索条件下与无效线索条件下违反竞争模型的发生时间和时间窗口相似，且峰值无差异，表明老年人在有效线索条件下和无效线索条件下的视听觉整合效应没有差异。青年人的结果如图 3(c)和图 3(d)所示：有效线索条件下显著违反竞争模型的时间窗口为 130ms(110ms~240ms)，$ts(23)>1.75$，$ps<0.05$，$ds>0.36$，峰值在 230ms，为 4.69%；无效线索条件下显著违反竞争模型的时间窗口为 70ms(170ms~240ms)，$ts(23)>2.31$，$ps<0.05$，$ds>0.47$，峰值在 230ms，

为 4.75%，使用配对样本 t 检验对青年人在有效线索条件下与无效线索条件下的峰值进行分析，结果无差异，$t(23)=0.025$，$p>0.05$，即虽然青年人在有效线索条件下相比无效线索条件下违反竞争模型的发生时间稍早，违反竞争模型的时间窗口稍长，但两者峰值无差异，表明青年人在有效线索条件和无效线索条件下的视听觉整合效应没有差异。

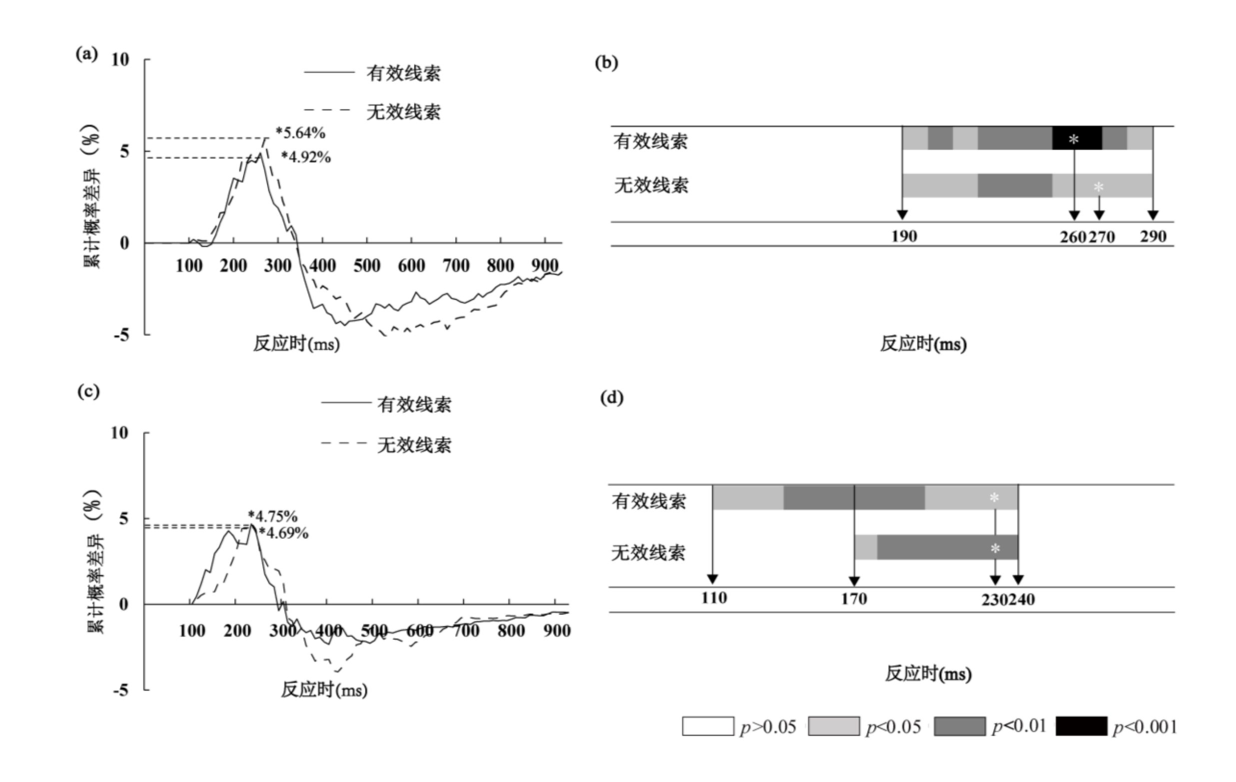


图 3 (a)为老年人在各线索类型条件下违反 Race model 结果，横轴表示违反 Race model 的时间窗，纵轴表示累积概率差异；(b)为老年人在各线索类型条件下显著违反 Race model 的时间窗口；(c)为青年人在各线索类型条件下违反 Race model 结果，横轴表示违反 Race model 的时间窗，纵轴表示累积概率差异；(d)为青年人在各线索类型条件下显著违反 Race model 的时间窗口。

注：(b)和(d)中不同颜色表示不同的统计显著性值，*表示峰值。

3 实验 2：70%线索有效性条件下内源性空间注意对老年人视听觉整合的影响

3.1 方法

3.1.1 被试

实验 2 计划样本量方法与结果与实验 1 一致。实验 2 实际在某老年大学内随机招募被试 26 名(男 16 人，女 10 人)，平均年龄为 64.8±5.7 岁。随机招募某高校大学生 28 名(男 16 人，女 12 人)，平均年龄为 22.3±2.4 岁。本次实验中所有被试均视力或者矫正视力正常，听力正常，身体健康，脑部无损伤。本次实验的被试之前均没有参加类似实验的经历。其

中，两名老年人和两名青年人被试的数据由于正确率低于 90%因此被删除，一名青年人被试的数据由于单个实验条件下的最小有效试次数低于该条件下总试次数的 70%被删除。通过软件 G*Power3.1.9 对双侧独立样本 *t* 检验进行了敏感性分析(sensitivity analysis)，设置 α=0.05，power=0.80，计算出实验 2 的 effect size dz=0.82，该实验达到了高等效应量，具备了较好的统计检验力。

3.1.2 实验仪器及材料

实验 2 的实验仪器以及材料与实验 1 相同。

3.1.3 实验设计和程序

实验 2 将线索有效性提升为 70%，其余条件与实验 1 相同。每个被试均需要完成 900 个正式实验试次(有效线索试次：630 个；无效线索试次：270 个)，分为 5 组，每组 180 个试次，每种试次随机呈现，每组之间休息 1 分钟。正式实验前有 30 个练习试次。实验大约为 40 分钟。实验流程与实验 1 一致。

3.1.4 数据分析

实验 2 的数据分析过程与实验 1 相同。

3.2 结果与分析

删除反应时小于 100ms 和大于 1200ms 的异常数据，如表 1 所示：最终老年人在有效线索条件下平均有效试次数为 596，无效线索条件下平均有效试次数为 253；青年人在有效线索条件下平均有效试次数为 578，无效线索条件下平均有效试次数为 253。

总正确率结果如表 3 所示，老年人和青年人在各条件下的正确率均较高，因此仅对反应时进行分析。

表 3 实验 2 中不同条件下的正确率**(ACC/%)**、反应时**(RT/ms)**(***M*** ± ***SD***)

目标刺激	线索类型	老年人		青年人	
		ACC	RT	ACC	RT
视觉刺激	有效线索	97.6±2.5	488±179	98.7±1.4	359±123
	无效线索	98.5±1.8	535±157	97.3±3.1	378±119
听觉刺激	有效线索	97.3±2.7	451±180	96.1±3.3	378±161
	无效线索	95.1±4.1	514±146	90.0±4.7	421±143
视听觉刺激	有效线索	96.1±3.1	403±179	98.7±1.4	287±107
	无效线索	96.6±3.7	463±156	97.3±2.4	322±92

注：ACC 代表正确率(Accuracy, %)，RT 代表反应时(Reaction time, ms)

3.2.1 反应时

将正确试次条件下的反应时进行 2(被试类型：青年人 vs.老年人)×2(线索类型：有效线索 vs.无效线索)×3(目标刺激类型：视觉刺激 vs.听觉刺激 vs.视听觉刺激)的重复测量方差分析。结果如表 3 所示。被试类型主效应显著，$F(1, 47)=8.73$，$p=0.005$，$\eta_p^2=0.16$，青年人的反应时(358ms)显著快于老年人(475ms)。线索类型主效应显著，$F(1, 47)=30.83$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.40$，有效线索条件下的反应时(394ms)显著快于无效线索条件下的反应时(439ms)。目标刺激刺类型主效应显著，$F(2, 94)=41.90$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.47$，多重比较分析表明，视听觉刺激的反应时(369ms)显著快于视觉刺激(442ms)，$t(48)=7.87$，$p<0.001$，$d=0.48$，95%CI=[49.11, 93.22]和听觉刺激的反应时(441ms)，$t(48)=7.99$，$p<0.001$，$d=0.49$，95%CI=[50.24, 94.35]。被试类型和目标刺激类型的交互作用显著，$F(2, 94)=5.97$，$p=0.004$，$\eta_p^2=0.11$。线索类型和目标刺激类型的交互作用显著，$F(2, 94)=13.23$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.22$。其余交互作用均无显著差异($ps>0.05$)。

此外，分别将老年人和青年人的线索化效应(Cue effect=$RT_{无效}$–$RT_{有效}$)进行单样本 t 检验，结果均显著大于 0，$ps<0.05$，$ds>0.64$，说明本研究中老年人和青年人都产生了内源性空间注意。使用独立样本 t 检验分别对正态化后的视觉刺激、听觉刺激和视听觉刺激条件下老年人和青年人线索化效应进行分析，结果均无显著差异 $ts(47)<1.30$，$ps>0.05$。

3.2.2 相对多感觉反应增强(rMRE)

首先，计算出各条件下反应时的中位数的 rMRE 结果。然后对各被试类型、各线索类型条件下的 rMRE 进行单样本 t 检验(与 0 进行比较)，结果表明，老年人在各线索类型条件下的 rMRE 均显著大于 0，$ts(23)>5.40$，$ps<0.001$，$ds>1.10$；青年人在各线索类型条件下的 rMRE 均显著大于 0，$ts(24)>4.01$，$ps<0.001$，$ds>0.80$。说明了老年人和青年人在各线索类型条件下都产生了视听觉整合效应。

其次，使用配对样本 t 检验对老年人在各线索类型条件下的 rMRE 进行分析，如图 2(b)所示，结果表明，老年人在有效线索条件下和无效线索条件下的 rMRE 没有显著差异，$t(23)=1.27$，$p>0.05$。同样地，使用配对样本 t 检验对青年人在各线索类型条件下的 rMRE 进行分析，结果表明，青年人有效线索条件下的 rMRE(14.2%)显著大于无效线索条件下的 rMRE(10.0%)，$t(24)=3.03$，$p=0.006$，$d=0.61$，95%CI=[1.36, 7.18]。

最后，使用独立样本 t 检验对有效线索条件和无效线索条件的各被试类型的 rMRE 进行分析，目的是为了探究老年人和青年人视听觉整合是否存在显著差异。结果如图 2(b)所示，有效线索条件下，青年人的 rMRE(14.2%)显著大于老年人的 rMRE(8.0%)，$t(47)=2.24$，

p=0.03，*d*=0.64，95%CI=[0.62, 11.77]；无效线索条件下，青年人的 rMRE 与老年人的 rMRE 无差异，*t*(47)=1.13，*p*>0.05。

3.2.3 竞争模型分析(Race model)

首先，在反应时 100~1200ms 区间，计算出每 10ms 的时间段上，老年人和青年人在各线索类型条件下的累积概率值：听觉 $P(RT_A<t)$、视听觉 $P(RT_{AV}<t)$、和视觉 $P(RT_V<t)$。然后计算出各线索类型的竞争模型累积分布概率 $P(RT_{Race\ model}<t)$与 $P(RT_{AV}<t)$的累积概率差值，并且根据 Nardini 等(2016)的数据分析方法，在每 10ms 上进行单尾单样本 *t* 检验。老年人的结果如图 4(a)和图 4(b)所示：有效线索条件下显著违反竞争模型的时间窗口为 30ms(170ms~200ms)，*t*s(23)>2.11，*p*s<0.05，*d*s>0.43，峰值在 190ms，为 1.95%；无效线索条件下显著违反竞争模型的时间窗口为 70ms(140ms~170ms; 290ms~330ms)，*t*s(23)>1.72，*p*s<0.05，*d*s>0.35，峰值在 300ms，为 3.26%。使用配对样本 *t* 检验对老年人在有效线索条件下与无效线索条件下的峰值进行分析，结果无差异，*t*(23)=0.69，*p*>0.05。即虽然老年人在有效线索条件下相比无效线索条件下违反竞争模型的发生时间稍晚，违反竞争模型的时间窗口稍小，但两者峰值无差异，表明老年人在有效线索条件下和无效线索条件下的视听觉整合效应没有差异。青年人的结果如图 4(c)和图 4(d)所示：有效线索条件下显著违反竞争模型的时间窗口为 90ms(130ms~220ms)，*t*s(24)>1.86，*p*s<0.05，*d*s>0.37，峰值在 200ms，为 4.11%；无效线索条件下显著违反竞争模型的时间窗口为 10ms(120ms~130ms)，*t*(24)=1.78，*p*=0.04，*d*=0.48，峰值在 130ms，为 0.49%，使用配对样本 t 检验对青年人在有效线索条件下与无效线索条件下的峰值进行分析，有效线索条件下的峰值(4.11%)显著大于无效线索条件下的峰值(0.49%)，*t*(24)=2.41，*p*=0.012，*d*=0.48，95%CI=[0.129, +∞]，即青年人在有效线索条件下相比无效线索条件下违反竞争模型的时间窗口更大，且峰值更高，表明青年人在有效线索条件下的视听觉整合效应大于无效线索条件下的视听觉整合效应。

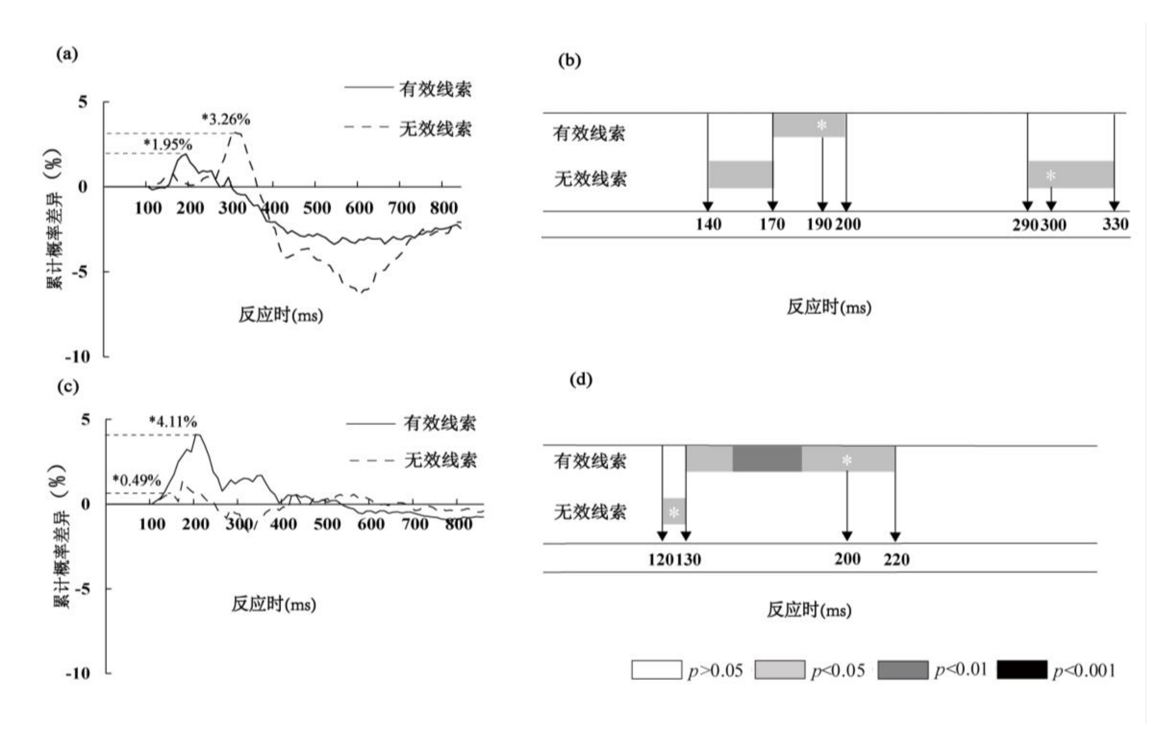


图 4　(a)为老年人在各线索类型条件下违反 Race model 结果，横轴表示违反 Race model 的时间窗，纵轴表示累积概率差异；(b)为老年人在各线索类型条件下显著违反 Race model 的时间窗口；(c)为青年人在各线索类型条件下违反 Race model 结果，横轴表示违反 Race model 的时间窗，纵轴表示累积概率差异；(d)为青年人在各线索类型条件下显著违反 Race model 的时间窗口。

注：(b)和(d)中不同颜色表示不同的统计显著性值，*表示峰值。

4 实验 3：90%线索有效性条件下内源性空间注意对老年人视听觉整合的影响

4.1 方法

4.1.1 被试

实验 3 计划样本量方法与结果与实验 1 一致。实验 3 实际在某老年大学内随机招募被试 29 名(男 11 人，女 18 人)，平均年龄为 70.0±6.7 岁。随机招募某高校大学生 29 名(男 8 人，女 21 人)，平均年龄为 21±2 岁。本次实验中所有被试均视力或者矫正视力正常，听力正常，身体健康，脑部无损伤。本次实验的被试之前均没有参加类似实验的经历。其中，一名老年人、两名青年人被试的数据由于正确率低于 90%被删除。通过软件 G*Power3.1.9 对双侧独立样本 *t* 检验进行了敏感性分析(sensitivity analysis)，设置 α=0.05，power=0.80，计算出实验 3 的 effect size dz=0.77，该实验达到了高等效应量，具备了较好的统计检验力。

4.1.2 实验仪器及材料

实验 3 的实验仪器以及材料与实验 1 相同。

4.1.3 实验设计和程序

实验 3 将线索有效性提升为 90%，其余条件与实验 1 相同。每个被试均需完成 1200 个正式实验试次(有效线索试次：1080 个；无效线索试次：120 个)，共分为 10 组，每组 120 个试次，每种试次随机呈现，每组之间休息 1 分钟。正式实验前有 30 个练习试次。实验大约为 70 分钟。实验流程与实验 1 一致。

4.1.4 数据分析

实验 3 的数据分析过程与实验 1 相同。

4.2 结果与分析

删除反应时小于 100ms 和大于 1200ms 的异常数据。如表 1 所示：最终老年人在有效线索条件下平均有效试次数为 1015，无效线索条件下平均有效试次数为 109。青年人在有效线索条件下平均有效试次数为 1059，无效线索条件下平均有效试次数为 118。

总正确率结果如表 4 所示，老年人和青年人在各条件下的正确率均较高，因此仅对反应时进行分析。

表 4 实验 3 中不同条件下的正确率**(ACC%)**、反应时**(RT/ms)** (***M*** ± ***SD***)

目标刺激	线索类型	老年人		青年人	
		ACC	RT	ACC	RT
视觉刺激	有效线索	97.9±2.5	446±110	99.8±0.4	302±74
	无效线索	98.6±4.4	546±112	99.8±0.3	372±97
听觉刺激	有效线索	95.4±4.4	404±95	96.6±2.6	298±88
	无效线索	90.6±7.7	530±103	90.0±8.3	429±114
视听觉刺激	有效线索	97.9±2.1	359±94	99.4±0.6	237±71
	无效线索	96.1±4.4	478±104	99.2±1.4	322±92

注：ACC 代表正确率(Accuracy, %)，RT 代表反应时(Reaction time, ms)

4.2.1 反应时

将正确试次条件下的反应时进行 2(被试类型：青年人 vs.老年人)×2(线索类型：有效线索 vs.无效线索)×3(目标刺激类型：视觉刺激 vs.听觉刺激 vs.视听觉刺激)的重复测量方差分析。结果如表 4 所示。被试类型主效应显著，$F(1, 53)=38.69$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.42$，青年人的反应时(327ms)显著快于老年人(460ms)。线索类型主效应显著，$F(1, 53)=70.78$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.57$，有效线索条件下的反应时(341ms)显著快于无效线索条件下的反应时(446ms)。目标刺激类型主效应显著，$F(2, 106)=67.08$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.56$，多重比较分析表明，视听觉刺激的反应时(349ms)显著快于视觉刺激(417ms)，$t(54)=10.12$，$p<0.001$，$d=0.70$，95%CI=[51.41, 83.95]和听觉刺激的反应时(416ms)，$t(54)=10.05$，$p<0.001$，$d=0.69$，95%CI=[50.96,

83.50]。被试类型、线索类型和目标刺激类型三者交互作用显著，*F*(2, 106)=6.44，*p*=0.002，η_p^2=0.11。

为了进一步探究不同被试群体线索类型和目标刺激类型之间潜在的交互作用，我们分别对老年人和青年人进行 2(线索类型：有效线索 vs.无效线索)×3(目标刺激类型：视觉刺激 vs.听觉刺激 vs.视听刺激)的重复测量方差分析。当被试类型为老年人时，线索类型和目标刺激类型交互作用显著，*F*(2, 54)=5.04，*p*=0.01，η_p^2=0.16。简单效应分析表明，有效线索条件下，各目标刺激类型反应时差异显著 *F*(2, 54)=41.96，*p*<0.001，η_p^2=0.61。多重比较分析表明，视听觉刺激反应时(358ms)显著快于视觉刺激反应时(446ms)，*t*(27)=7.26，*p*<0.001，*d*=0.85，95%CI=[50.93, 124.31]和听觉刺激反应时(404ms)，*t*(27)=3.75，*p*<0.001，*d*=0.438，95%CI=[8.60, 81.98]，并且听觉刺激反应时快于视觉刺激反应时，*t*(27)=3.58，*p*=0.012，95% CI=[5.64, 79.02]。无效线索条件下，各目标刺激类型反应时差异显著，*F*(2, 54)=12.66，*p*<0. 001，η_p^2=0.32。多重比较分析表明，视听觉刺激的反应时(477ms)显著快于视觉刺激反应时(545ms)，*t*(27)=5.64，*p*<0.001，*d*=0.66，95%CI=[31.34, 104.72]和听觉刺激反应时(530ms)，*t*(27)=4.31，*p*<0.001，*d*=0.50，95%CI=[15.28, 88.67]。当被试类型为青年人时，线索类型和目标刺激类型交互作用显著，*F*(2, 52)=33.50，*p*<0.001，η_p^2=0.56。简单效应分析表明，有效线索条件下，各目标刺激类型反应时差异显著，*F*(2, 52)=88.04，*p*<0.001，η_p^2=0.72。多重比较分析表明，视听觉刺激反应时(237ms)显著快于视觉刺激反应时(301ms)，*t*(26)=8.23，*p*<0.001，*d*=0.72，95%CI=[40.90, 88.43]和听觉刺激反应时(292ms)，*t*(26)=7.74，*p*<0.001，*d* =0.67，95%CI=[37.04, 84.56]。无效线索条件下，各目标刺激类型反应时差异显著，*F*(2, 52) =60.23，*p*<0.001，η_p^2=0.70。多重比较分析表明，视听觉刺激的反应时(322ms)显著快于视觉刺激反应时(372ms)，*t*(26)=6.31，*p*<0.001，*d*=0.55，95%CI=[25.84, 73.36]和听觉刺激反应时(429ms)，*t*(26)=13.51，*p*<0.001，*d*=1.17，95%CI=[82.37, 129.90]，并且视觉刺激反应时快于听觉刺激反应时 *t*(26)=7.19， *p*<0.001，*d*=0.67，95%CI=[25.84, 73.36]。

此外，分别将老年人和青年人的线索化效应(Cue effect=$RT_{无效}$–$RT_{有效}$)进行单样本 *t* 检验，结果均显著大于 0，*p*s<0.05，*d*s>0.82，说明本研究中老年人和青年人都产生了内源性空间注意。使用独立样本 *t* 检验分别对正态化后的视觉刺激、听觉刺激和视听觉刺激条件下老年人和青年人线索化效应进行分析，结果发现：在视觉刺激条件下，老年人线索化效应(0.05)显著高于青年人(0.02)，*t*(53)=2.16，*p*=0.035，*d*=0.58，95%CI=[0.002, 0.059]；在听觉刺激条件下，老年人线索化效应(0.06)显著高于青年人(0.004)，*t*(53)=3.81，*p*<0.001，

d=1.03，95%CI=[0.025, 0.079]；在视听觉刺激条件下，老年人和青年人线索化效应无差异，$t(53)=0.76$，$p>0.05$。

4.2.2 相对多感觉反应增强(rMRE)

首先，计算出各条件下反应时的中位数的 rMRE 结果。然后对各被试类型、各线索类型条件下的 rMRE 进行单样本 t 检验，结果表明老年人在各线索类型条件下的 rMRE 均显著大于 0，$ts(28)>4.70$，$ps<0.001$，$ds>0.82$；青年人在各线索类型条件下的 rMRE 均显著大于 0，$ts(26)>8.96$，$ps<0.001$，$ds>1.72$。说明老年人和青年人在各线索类型条件下都产生了视听觉整合效应。

其次，使用配对样本 t 检验对老年人在各线索类型条件下的 rMRE 进行分析，如图 2(c)所示，结果表明老年人有效线索条件下的 rMRE(7.9%)显著高于无效线索条件下的 rMRE(5.2%)，$t(27)=2.77$，$p=0.01$，$d=0.52$，95%CI=[0.71, 4.76]。同样地，使用配对样本 t 检验对青年人在各线索类型条件下的 rMRE 进行分析，如图 2(c)所示，结果表明，青年人有效线索条件下的 rMRE(14.0%)显著高于无效线索条件下的 rMRE(11.2%)，$t(26)=2.19$，$p=0.038$，$d=0.42$，95%CI=[0.16, 5.32]。

最后，使用独立样本 t 检验对有效线索条件和无效线索条件的各被试类型的 rMRE 进行分析，目的是为了探究老年人和青年人视听觉整合是否存在显著差异。结果如图 2(c)所示，有效线索条件下，青年人的 rMRE(14.0%)显著大于老年人的 rMRE(7.9%)，$t(53)=4.46$，$p<0.001$，$d=1.20$，95%CI=[3.33, 8.79]；无效线索条件下青年人的 rMRE(11.2%)显著大于老年人的 rMRE(5.2%)，$t(53)=3.50$，$p<0.001$，$d=0.94$，95%CI=[2.59, 9.51]。

4.2.3 竞争模型分析(Race model)

首先，在反应时 100~1200ms 区间里，计算出每 10ms 的时间段上，老年人和青年人在各线索类型条件下的累积概率值：听觉 $P(RT_A<\mathrm{t})$、视听觉 $P(RT_{AV}<\mathrm{t})$、和视觉 $P(RT_V<\mathrm{t})$。然后计算出各线索类型的竞争模型累积分布概率 $P(RT_{Race\ model}<\mathrm{t})$与 $P(RT_{AV}<\mathrm{t})$的累积概率差值，并且根据 Nardini 等(2016)的数据分析方法，在每 10ms 上进行单尾单样本 t 检验。老年人的结果如图 5(a)和图 5(b)所示：有效线索条件下显著违反竞争模型的时间窗口为 90ms(160ms~250ms)，$ts(27)>1.88$，$ps<0.05$，$ds>0.36$，峰值在 210ms，为 2.07%；无效线索条件下没有显著违反竞争模型的时间窗口，表明老年人在有效条件下的视听觉整合效应大于无效条件下的视听觉整合效应。青年人的结果如图 5(c)和图 5(d)所示：有效线索条件下显著违反竞争模型的时间窗口为 150ms(120ms~270ms)，$ts(26)>1.96$，$ps<0.05$，$ds>0.38$，峰值在 190ms，为 7.14%；无效线索条件下显著违反竞争模型的时间窗口为 130ms(160ms~180ms、190ms~

300ms)，$ts(26)>2.06$，$ps<0.05$，$ds>0.40$，峰值在 270ms，为 4.87%。使用配对样本 t 检验对青年人在有效线索条件下与无效线索条件下的峰值进行分析，结果无差异，$t(26)=1.38$，$p=0.089$。即虽然青年人在有效线索条件下相比无效线索条件下违反竞争模型的发生时间更早，违反竞争模型的时间窗口稍长，但两者峰值无差异。

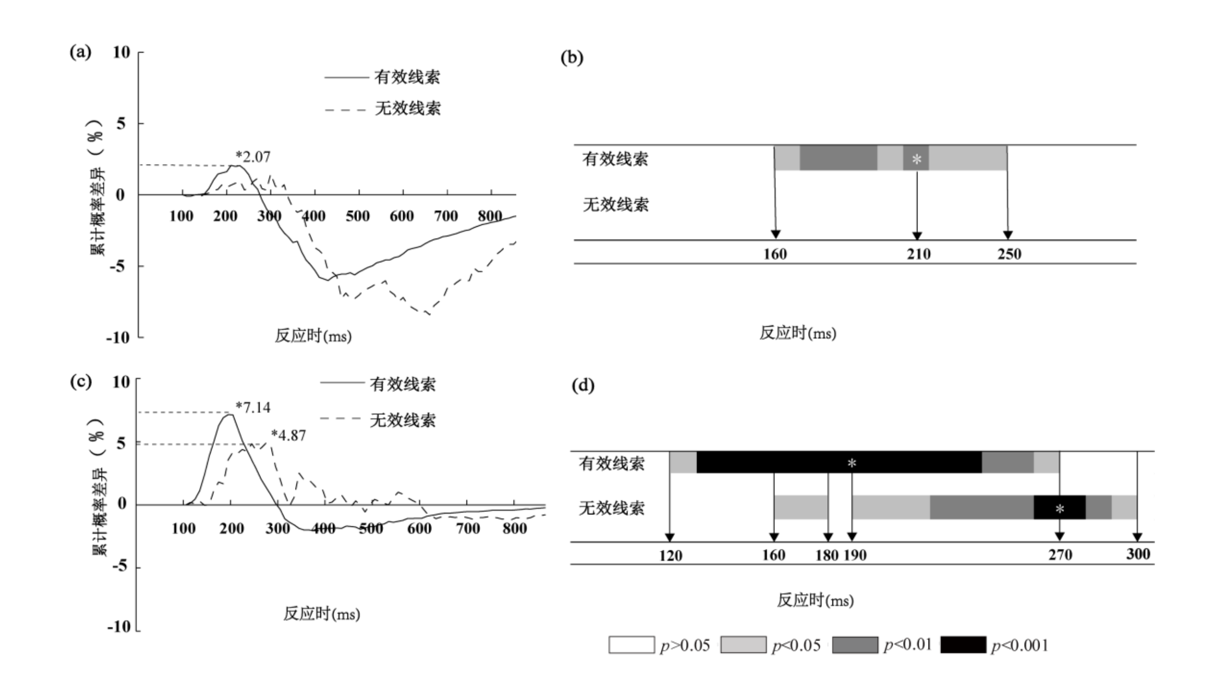


图 5 (a)为老年人在各线索类型条件下违反 Race model 结果，横轴表示违反 Race model 的时间窗，纵轴表示累积概率差异；(b)为老年人在各线索类型条件下显著违反 Race model 的时间窗口；(c)为青年人在各线索类型条件下违反 Race model 结果，横轴表示违反 Race model 的时间窗，纵轴表示累积概率差异；(d)为青年人在各线索类型条件下显著违反 Race model 的时间窗口。

注：(b)和(d)中不同颜色表示不同的统计显著性值，*表示峰值。

5 讨论

本研究使用内源性空间线索–靶子范式，通过三个实验探讨了不同线索有效性条件下，内源性空间注意对老年人和青年人视听觉整合的影响。结果发现，在三个实验的有效线索条件下，青年人的视听觉整合效应均高于老年人的视听觉整合效应。另外，在不同线索有效性条件下，内源性空间注意对老年人与青年人视觉听觉整合的影响也存在差异。老年人的 rMRE 和 Race model 的结果表明，当线索有效性为 50%和 70%时，内源性空间注意对老年人的视听觉整合没有促进作用，当线索有效性为 90%时，内源性空间注意才可以促进老年人的视听觉整合。青年人的 rMRE 和 Race model 的结果表明，当线索有效性为 50%时，内源性空间注意对青年人的视听觉整合没有促进作用，而当线索有效性为 70%和 90%时，内源性空间注意显著促进了青年人的视听觉整合。

在本研究中，无论线索有效性的高低，有效线索条件下青年人的视听觉整合效应均高于老年人(如图 2 所示)。在以往研究中，关于老年人视听觉整合的研究存在两种观点，第一种观点认为老年人的视听觉整合强于青年人，并认为这是因为老年人的视觉和听觉敏感性较弱，而视听觉整合对老年人的单感觉功能障碍进行了补偿(Laurienti et al., 2006)。第二种观点认为，受目标刺激位置等因素的影响，老年人的视听觉整合弱于青年人，如 Wu 等(2012)的研究发现，当目标刺激出现在外周时老年人视听觉整合效应弱于青年人，并认为这是由于老年人对外周刺激的处理能力减弱造成的。本研究的结果支持了第二种观点，本研究中的目标刺激始终出现在外周位置(左/右 11°)，并且老年人对各类型目标刺激的反应时均慢于青年人(如表 2、表 3、表 4 所示)，说明在本研究中老年人对刺激的处理能力也是弱于青年人的。根据以往研究，对外周刺激处理能力的减弱会导致老年人视听觉整合效应下降(Wu et al., 2012; Yang et al., 2021)。因此刺激出现在外周位置，可能是本研究中老年人视听觉整合效应弱于青年人的原因之一。此外，在 Wu 等(2012)的研究中外周刺激出现的位置具有随机性，因此该研究考察的为外源性空间注意对视听觉整合的影响。而本研究中采用的为内源性空间注意，被试需要根据实验任务要求对目标刺激的位置进行内源性空间注意定向。以往的研究表明在内源性线索-靶子任务中，老年人的内源性注意定向收益低于青年人(Erel & Levy, 2016; Slessor et al., 2016; Zivony et al., 2019)，因此在本研究中老年人需要更多的注意资源进行空间定向，导致与青年人相比，分配给视听觉刺激的注意资源减少，进而造成了老年人视听觉整合效应的下降。

本研究中 rMRE 和 Race model 结果分析表明，在 50%线索有效性条件下，内源性空间注意对老年人和青年人的视听觉整合均无促进作用；在 70%线索有效性条件下，内源性空间注意对青年人的视听觉整合产生了显著的促进作用，而对老年人视听觉整合没有促进作用；在 90%线索有效性条件下，内源性空间注意对老年人和青年人的视听觉整合均产生了显著的促进作用。根据“空间不确定假说”，由于有效线索条件下线索和目标刺激提供的空间定向信息是冗余的，并且当线索有效性越低，目标空间位置越不确定时，被试反而越会依赖线索提供的信息进行空间定向，因此导致视听觉目标刺激重要性的降低(van der Stoep et al., 2015)，得到的注意资源减少(唐晓雨 等, 2020)，这可能是本研究中，50%线索有效性条件下，内源性空间注意不能对老年人和青年人的视听觉整合产生促进作用的原因。而以往研究发现，随着线索有效性的提高，目标刺激位置的确定性也随之提高，被试对空间定向的需求降低，进而会将更多的注意资源分配到有效线索条件下的视听觉刺激上，促进有效线索条件下的视听觉整合(van der Stoep et al., 2015; 彭姓 等, 2019; 唐晓雨 等, 2020)，所以

本研究中，线索有效性从 50%提高至 70%时，内源性空间注意对青年人的视听觉整合产生了显著促进作用。值得注意的是，70%线索有效性条件下，内源性空间注意没有对老年人视听觉整合产生促进作用，可能的原因是，在此条件下，老年人仍然不能将更多注意资源分配给有效线索条件下的视听觉刺激。Zivony 等(2019)的研究表明，由于老年人在 75%线索有效性条件下的内源性注意定向收益低于青年人，造成老年人对目标刺激空间位置的不确定程度高于青年人(Zivony et al., 2019)，即在本研究中 70%线索有效性条件下，与青年人相比，老年人对目标刺激空间位置不确定的程度仍然较高，有效线索条件下视听觉刺激得到的注意资源较少，而较少的内源性空间注意没有促进老年人视听觉整合。然而，随着线索有效性的提高，在 90%线索有效性条件下，内源性空间注意对老年人和青年人的视听觉整合均产生了显著的促进作用。这是由于，有研究发现，高线索有效性条件下，老年人的内源性注意定向收益与青年人没有差异(Folk & Hoyer, 1992)，即在本研究中，90%线索有效性条件下，老年人和青年人皆可以较好的利用内源性线索进行空间定向，进而将更多的注意资源分配给有效线索条件下的视听觉刺激，促进了视听觉整合。

6 结论

(1)在内源性空间注意条件下，无论线索有效性的高低，老年人的视听觉整合均弱于青年人。(2)不同线索有效性条件下，内源性空间注意对老年人和青年人视听觉整合的调节存在差异，仅在高线索有效性条件下，内源性空间注意可以促进老年人视听觉整合。

参考文献

Anderson, R. S., & McDowell, D. R. (1997). Peripheral resolution using stationary and flickering gratings: The effects of age. *Current Eye Research, 16*(12), 1209–1214.

Arjona, A., Escudero, M., & Gómez, C. M. (2016). Cue validity probability influences the neural processing of targets. *Biological Psychology, 119*, 171–183.

Decarli, C., Massaro, J., Harvey, D., Hald, J., & Wolf, P. A. (2005). Measures of brain morphology and infarction in the framingham heart study: Establishing what is normal. *Neurobiology of Aging, 26*(4), 491–510.

Diederich, A., Colonius, H., & Schomburg, A. (2008). Assessing age-related multisensory enhancement with the time window–of–integration model. *Neuropsychologia, 46*(10), 2556–2562.

Donohue, S. E. , Green, J. J., & Woldorff, M. G. (2015). The effects of attention on the temporal integration of multisensory stimuli. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, *9*(32), 1–14.

Erel, H., & Levy, D. A. (2016). Orienting of visual attention in aging. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 69*, 357–380.

Fleming, J. T., Noyce, A. L., & Shinn-Cunningham, B. G. (2020). Audio-visual spatial alignment improves integration in the presence of a competing audio-visual stimulus. Neuropsychologia, *146*, 1-39.

Folk, C. L., & Hoyer, W. J. (1992). Aging and shifts of visual-spatial attention. *Psychology and Aging, 7*(3), 453–465.

Gao, Y. L., Li, Q., Yang, W. P., Yang, J., Tang, X. Y., & Wu, J. L. (2014). Effects of ipsilateral and bilateral auditory stimuli on audiovisual integration: A behavioral and event-related potential study. *NeuroReport*, *25*(9), 668–675.

Hugenschmidt, C. E., Mozolic, J. L., & Laurienti, P. J. (2009). Suppression of multisensory integration by modality-specific attention in aging. *Neuroreport, 20*(4), 349–353.

Jones, S. A., & Noppeney, U. (2021). Aging and multisensory integration: A review of the evidence, and a computational perspective. *Cortex, 138*, 1–23.

Juola, J. F., Koshino, H., Warner, C. B., Mcmickell, M., & Peterson, M. (2000). Automatic and voluntary control of attention in young and older adults. *American Journal of Psychology, 113*(2), 159–178.

Laurienti, P. J., Burdette, J. H., Maldjian, J. A., & Wallace, M. T. (2006). Enhanced multisensory integration in older adults. *Neurobiology of Aging*, *27*(8), 1155–1163.

Li, Q., Wu, J., & Touge, T. (2010). Audiovisual interaction enhances auditory detection in late-stage: An event-related potential study. *NeuroReport*, *21*(3), 173–178.

Li, Q., Yang, H., Sun, F., & Wu, J. (2015). Spatiotemporal Relationships among Audiovisual Stimuli Modulate Auditory Facilitation of Visual Target Discrimination. Perception, *44*(3), 232 – 242.

Lockhart, S. N., & DeCarli, C. (2014). Structural imaging measures of brain aging. *Neuropsychology Review, 24* (3), 271–289.

Miller, J. (1982). Divided attention: Evidence for coactivation with redundant signals. *Cognitive Psychology*, *14*(2), 247–279.

Nardini, M., Bales, J., & D Mareschal. (2016). Integration of audio-visual information for spatial decisions in children and adults. *Developmental Science*, *19*(5), 803–816.

Olk, B., & Kingstone, A. (2009). A new look at aging and performance in the antisaccade task: The impact of response selection. *European Journal of Cognitive Psychology*, *21*(2–3), 406–427.

Parada, H., Laughlin, G. A., Yang, M., Nedjat–Haiem, F. R., & McEvoy, L. K. (2021). Dual impairments in visual and hearing acuity and age-related cognitive decline in older adults from the Rancho Bernardo study of healthy aging. *Age and Ageing, 50*(4), 1268–1276.

Peiffer, A. M., Mozolic, J. L., Hugenschmidt, C. E., & Laurienti, P. J. (2007). Age-related multisensory enhancement in a simple audiovisual detection task. *Neuroreport*, *18*(10), 1077–1081.

Peng, X., Chang, R. S., Li, Q., Wang, A. J., & Tang, X. Y. (2019). Visually induced inhibition of return affects the audiovisual integration under different SOA conditions. *Acta Psychologica Sinica*, *51*(7), 759−771.

[彭姓, 常若松, 李奇, 王爱君, 唐晓雨. (2019). 不同 SOA 下视觉返回抑制对视听觉整合的调节作用. *心理学报, 51*(7), 759−771.]

Posner, M. I. (1980). "Orienting of attention." *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *32*(1), 3−25.

Ren, Y., Yang, W., Tang, X., Wu, F., & Wu, Q., & Wu, J. (2018). Comparison for younger and older adults: stimulus temporal asynchrony modulates audiovisual integration. *International Journal of Psychophysiology, 124*, 1-11.

Ren, Y., Hou, Y., Huang, J. , Li, F., & Yang, W. (2021). Sustained auditory attentional load decreases audiovisual integration in older and younger adults. *Neural Plasticity, 2021*(8), 1–10.

Slessor, G., Venturini, C., Bonny, E. J., Insch, P. M., Rokaszewicz, A., & Finnerty, A. N. (2016). Specificity of age-related differences in eye–gaze following: Evidence from social and nonsocial stimuli. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences, 71*(1), 11–22.

Stephen, J. M., Knoefel, J. E., Adair, J., Hart, B., & Aine, C. J. (2010). Aging-related changes in auditory and visual integration measured with MEG. *Neuroscience Letters, 484*(1), 76–80.

Talsma, D., & Woldorff, M. G. (2005). Selective attention and multisensory integration: multiple phases of effects on the evoked brain activity. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*(7), 1098–1114.

Talsma, D., Senkowski, D., Soto–Faraco, S., & Woldorff, M. G. (2010). The multifaceted interplay between attention and multisensory integration. *Trends in Cognitive Sciences*, *14*(9), 400–410.

Tang, X. Y., Wu, J. L., & Shen, Y. (2016). The interactions of multisensory integration with endogenous and exogenous attention. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *61*, 208−224.

Tang, X. Y., Wu, Y. N., Peng, X., Wang, A. J., & Li, Q. (2020). The influence of endogenous spatial cue validity on audiovisual integration. *Acta Psychologica Sinica*, *52*(7), 835−846.

[唐晓雨, 吴英楠, 彭姓, 王爱君, 李奇. (2020). 内源性空间线索有效性对视听觉整合的影响. *心理学报*, *52*(7), 835− 846.]

Tremblay, P., Basirat, A., Pinto, S., & Sato, M. (2021). Visual prediction cues can facilitate behavioural and neural speech processing in young and older adults. *Neuropsychologia, 159,* 1–17.

van der Stoep, N., van der Stigchel, S., & Nijboer, T. C. W. (2015). Exogenous spatial attention decreases audiovisual integration. *Attention Perception & Psychophysics, 77*(2), 464–482.

Vossel, S., Thiel, C. M., & Fink, G. R. (2006). Cue validity modulates the neural correlates of covert endogenous orienting of attention in parietal and frontal cortex. *Neuroimage, 32*(3), 1257–1264.

Wu, J. L., Yang, W. P., Gao, Y. L., & Kimura, T. (2012). Age-related multisensory integration elicited by peripherally presented audiovisual stimuli: *NeuroReport*, *23*(10), 616–620.

Yang, W. P., Li, Z., Guo, A., Li, S. N., Yang, X. F., & Ren, Y. N. (2021). Effects of stimulus intensity on audiovisual integration in aging across the temporal dynamics of processing. *International Journal of Psychophysiology, 162,* 95–103.

Yang, W., & Ren, Y. (2018). Attenuated audiovisual integration in middle-aged adults in a discrimination task. *Cognitive processing*, *19*(1), 41–45.

Zivony, A., Erel, H., & Levy, D. A. (2019). Multifactorial effects of aging on the orienting of visual attention. *Experimental Gerontology, 128*, 1–10.

Effects of endogenous spatial cue validity on audiovisual integration in older adults

GAO Yulin[1], TANG Xiaoyu[2], LIU Siyu[3], WANG Aijun[4], ZHANG Ming[4,5]

([1] *Department of Psychology, Jilin University, Changchun* 130012, *China*)

([2] *School of Psychology, Liaoning Collaborative Innovation Center of Children and Adolescents Healthy Personality Assessment and Cultivation, Liaoning Normal University, Dalian* 116029, *China*)

([3] *Ningbo Polytechnic*，*Ningbo* 315800, *China*)

([4] *Department of Psychology, Research Center for Psychology and Behavioral Sciences, Soochow University, Suzhou* 215123, *China*)

([5] *Graduate School of Interdisciplinary Science and Engineering in Health Systems, Okayama University, Okayama* 700-8530, *Japan*)

Abstract

Audiovisual integration is the integration of visual and auditory information into a unified, coherent and stable perceptual process. Although endogenous spatial attention can promote audiovisual integration in youth, studies have found differences in endogenous spatial attention between older adults and youth. It is unclear how endogenous spatial attention affects audiovisual integration in older adults and how audiovisual integration differs between older adults and young adults under endogenous spatial attention conditions. In this study, using the endogenous cue-target paradigm, three experiments investigated how endogenous spatial attention affects the audiovisual integration of elderly individuals under 50% (Experiment 1), 70% (Experiment 2), and 90% (Experiment 3) conditions.

A mixed 2 (participant type: elderly vs. young) × 2 (cue type: valid cue vs. invalid cue) × 3 (target stimulus type: A vs. V vs. AV) experimental design was used. The visual stimulus was a 2° × 2° red (RGB: 234, 86, 97) and yellow (RGB: 247, 200, 125) intersecting meta–pattern, the auditory stimulus was a 1600 Hz, 60 dB sinusoidal tone presented by ear headphones, and the audiovisual stimulus was visual and auditory stimuli presented simultaneously on the same side. The gaze screen was presented for 500 ms, followed by a cue screen for 200 ms. The cue was an

arrow pointing left or right. After a time interval of 600 ms, the target stimulus (A vs. V vs. AV) was presented in a box on the left or right side for 100 ms. Before the experiment, participants were informed that the cue validity was 50% for Experiment 1, 70% for Experiment 2, and 90% for Experiment 3 and were asked to judge the orientation of the target stimulus and to press the (N/M) key quickly and accurately.

From the reaction time results, it is clear that the reaction time of elderly people is significantly slower than that of younger people. From the relative amount of multisensory response enhancement (rMRE) and race model results, we can see that (1) audiovisual integration was weaker in older adults than in younger adults regardless of cue validity; (2) at 50% cue validity (Experiment 1), audiovisual integration in the effective cue condition was not significantly different from that in the invalid cue condition for both older and younger adults; (3) at 70% cue validity (Experiment 2), audiovisual integration in the effective cue condition was not significantly different from that in the invalid cue condition for older adults, and audiovisual integration in the effective cue condition was significantly higher than that in the invalid cue condition for younger adults; and (4) at 90% cue validity (Experiment 3), audiovisual integration in the effective cue condition was significantly higher than that in the ineffective cue condition for both older and younger adults.

Endogenous spatial attention had different moderating effects on audiovisual integration in older adults under different cue validity conditions and could promote audiovisual integration in older adults under high cue validity conditions. The findings further support the spatial uncertainty hypothesis and deepen the understanding of the interaction between endogenous attention and audiovisual integration.

Key Words endogenous spatial attention, audiovisual integration, older adult, cue validity